

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование влияния температуры на дислокационные дефекты в циркониевом сплаве Э110

УДК 669.296:669.788

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б52	Сюй Ханьюй		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лаптев Роман Сергеевич	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Бордулев Юрий Сергеевич			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ	Лидер А.М.	Д.Т.Н., доцент		

Томск – 2019 г.

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P1	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОСЗ+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
P2	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОСЗ+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
P3	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
P4	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
P5	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-8, ОПК-9)

<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р6	<u>Научно-исследовательская деятельность</u> Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.	Требования ФГОСЗ+ (ПК-1, ПК-2)
Р7	<u>Научно-инновационная деятельность</u> Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.	Требования ФГОСЗ+ (ПК-3, ПК-4, ПК-5)
Р8	<u>Организационно-управленческая</u> Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОСЗ+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)
Р9	<u>Педагогически-просветительская</u> Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний	Требования ФГОСЗ+ (ПК-9)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Лидер А.М.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
150Б52	Сюй Ханьюй

Тема работы:

Исследование влияния температуры на дислокационные дефекты в циркониевом сплаве Э110	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Циркониевый сплав Э110, автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller LPB, спектрометрический комплекс для исследования дефектной структуры твердых тел методами позитронной аннигиляции

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Обзор литературных источников; – Подготовка образцов; – Исследование эволюции дислокационных дефектов при нагреве; – Анализ полученных результатов; – Заключение.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Скачкова Лариса Александровна</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Конотопский Владимир Юрьевич</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Бордулев Юрий Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б52	Сюй Ханьюй		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
150Б52	Сюй Ханьюй

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Физика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	
2. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. <i>График проведения и бюджет НИ</i>	
2. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б52	Сюй Ханьюй		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б52	Сюй Ханьюй

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Физика (03.03.02)

Тема ВКР:

Исследование влияния температуры на дислокационные дефекты в циркониевом сплаве Э110	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Прибор: ДУАЛ, СВПЖ; Рабочая зона: лаборатория в ТПУ кр. №3; Материал: титановый сплав Э110; Области применения: неразрушающий контроль; ядерная физика.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> — специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; — организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ГОСТ 12.2.003, Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности; 2. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ) Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. 3. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры. 4. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ "Шум. Общие требования безопасности."

	<p>5. СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.</p> <p>6. СНиП 23-05-95. "Естественное и искусственное освещение".</p> <p>7. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.</p> <p>8. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>- климатические условия;агрессивные вещества;производственный шум, освещенность.</p>
3. Экологическая безопасность:	- ядерная радиация; бумажные отходы.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>- пожароопасность и электробезопасность.</p> <p>- стихийное бедствие.</p> <p>- Разработка действий в результате возникшей чрезвычайной ситуации и меры по ликвидации ее последствий</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б52	Сюй Ханьюй		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения _____

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2018	Аналитический обзор литературы	15
01.09.2018	Подготовка образцов для исследования	15
30.12.2018	Исследование эволюции дислокационной структуры циркониевого сплава Э110 при отжиге	20
30.04.2019	Анализ результатов	15
25.05.2019	Социальная ответственность	15
25.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2019	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Бордулев Юрий Сергеевич			

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ	Лидер А.М.	Д.Т.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 85 страницы, 10 рисунков, 14 таблицы, 34 литературный источник, 0 приложений.

Ключевые слова: Сплав Э110, дислокации, позитронная аннигиляция, Допплеровское уширение.

В работе описан эксперимент по изучению деформационных дефектов в сплаве Zr-1Nb при термической обработке. В качестве метода деформации использовалась холодная прокатка. Метод спектрометрии Доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ) позитронов был использован в качестве метода исследования. В результате данной работы определена зависимость параметров формы спектров ДУ от температуры отжига образцов после деформации.

Цель работы:

Исследование влияния температуры на дислокационные дефекты в циркониевом сплаве Э110.

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	11
ВВЕДЕНИЕ	16
ГЛАВА 1 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ	19
1.1 Позитрон	19
1.2 Источники позитронов	20
1.3 Поведение позитрона внутри материала	21
1.3.1 Термализация.....	21
1.3.2 Диффузия	23
1.3.3 Аннигиляция.....	24
1.3.4 Состояния позитронов в материале	25
1.3.5 Методы позитронной аннигиляции	27
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	32
2.1 Циркониевый сплав Э110.....	32
2.1.1 Сплав Э110.....	32
2.1.2 Обработка сплава Э110	33
2.2 Методы исследований	34
2.2.1 Спектрометр времени жизни позитронов	35
2.2.2 Спектрометр ДУАЛ	40
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	43

3.1	Исследование влияния температуры отжига деформированного циркония на параметры Допплеровского уширения.....	43
3.2	Исследование влияния температуры отжига деформированного циркония на параметры времени жизни позитронов	48
3.3	Вывод работы	51
ГЛАВА 4	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	53
4.1	Организация и планирование работ	53
4.1.1	Продолжительность этапов работ	54
4.2	Расчет сметы затрат на выполнение проекта	60
4.2.1	Расчет затрат на материалы	60
4.2.2	Расчет заработной платы.....	60
4.2.3	Расчет затрат на социальный налог	61
4.2.4	Расчет затрат на электроэнергию	61
4.2.5	Расчет амортизационных расходов	62
4.2.6	Непосредственно учитываемые расходы	63
4.2.7	Расчет прочих расходов	64
4.2.8	Полная стоимость исследования.....	64
ГЛАВА 5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	66
	Введение.....	66
5.1.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	66

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	66
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	67
5.2 Профессиональная социальная безопасность.	68
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	69
5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.	71
5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	73
5.3 Экологическая безопасность.....	75
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду. .	75
5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду. .	75
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	76
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	76
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.	76
5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	77
5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.	78

5.5 Вывод.....	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	80
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	81

ВВЕДЕНИЕ

Сплавы на основе циркония широко используются для компонентов ядерных реакторов, таких как топливные оболочки, сетчатые распорки и направляющие трубы. В ядерных реакторах типа ВВЭР ниобий-содержащий сплав Э110 (Zr-1Nb) используется в качестве материала для изготовления тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) активной зоны. Топливный стержень выделяет много тепла во время использования, что повышает температуру окружающей среды (300-350 °C). В данных условиях эксплуатации, изделия из циркониевого материала подвергаются насыщению водородом как в результате паро-циркониевой реакции, так и при взаимодействии с газами внутри ТВЭЛа.

В ходе насыщения водородом циркониевого сплава происходят два параллельных процесса. Первый - образование гидрида циркония. Второй - это образование водород-индуцированных дефектов. Помимо создания новых дефектов, водород активно взаимодействует с уже имеющимися дефектами в материале. Концентрация дефекта будет также изменяться с повышением температуры топливного стержня. Состояние дефектной структуры определяет изменение физических свойств материала в процессе его эксплуатации. Таким образом, для решения задач прогнозирования и защиты от разрушения конструкционных материалов, необходимо иметь представление о развитии дефектной структуры циркониевого сплава в процессе насыщения водородом.

Методы электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА) являются хорошим инструментом обнаружения дефектов внутри металла. Этот метод является

надежным, чувствительным и не повреждает металлы, поэтому он широко используется для обнаружения дефектов металла. Для эффективного применения данного метода для исследования таких сложных структур, как водород-индуцированные дефекты, необходимо иметь основные представления о параметрах позитронной аннигиляции в дефектах различного типа. В настоящее время известны основные параметры позитронной (такие как время жизни позитронов) аннигиляции в вакансиях и дислокациях циркония. Помимо этого, известно, как будут меняться данные параметры при взаимодействии водорода с дефектами вакансионного типа. Неисследованной до сих пор областью является изменение параметров аннигиляции позитронов в связанных дефектах типа «дислокация-водород». Для исследования данного вопроса, необходимо провести эксперимент по исследованию насыщенных водородом образцов циркониевого сплава методами позитронной аннигиляции. При этом, в ходе подготовки образцов, необходимо производить насыщение водородом образцов, содержащих дислокационные дефекты при повышенных температурах. Известно, что повышение температуры образца является одним из основных факторов, изменяющих дефектную структуру внутри материала. Таким образом, для решения проблемы исследования систем «дислокация-водород», необходимо установить зависимость дислокационной структуры циркониевого сплава Э110 от температуры.

Исходя из этого, целью данной работы является исследование влияния температуры на дислокационные дефекты в циркониевом сплаве Э110. Соответственно, для достижения данной цели, нужно решить следующие задачи:

- 1) подготовка образцов циркониевого сплава Э110, содержащего дислокационные дефекты;
- 2) исследование влияния температурного воздействия на дефектную структуру полученных образцов;
- 3) определение оптимальной температуры для дальнейшего насыщения водородом образцов циркониевого сплава Э110, содержащего дислокации;
- 4) выявление стабильности параметров позитронной аннигиляции при температурном циклировании образцов сплава Э110, содержащего дислокации.

ГЛАВА 1 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ

1.1 Позитрон

Позитрон является античастицей электрона который имеет +1 ед. заряда $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, спин $\frac{1}{2}$ и массу $9,10 \times 10^{-31}$ кг.

В 1930 году британский физик Поль Дирак предсказал существование позитронов в теории [1]. В 1929 году Дирак написал дополнительную статью, чтобы попытаться объяснить неизбежное решение отрицательной энергии релятивистских электронов [2].

В 1932 году американский физик Карл Дэвид Андерсон обнаружил позитроны в космических лучах [3]. Название «позитрон» было создано самим Андерсоном [4,5]. Карл Дэвид Андерсон был удостоен Нобелевской премии по физике в 1936 году.

Методы аннигиляции позитронов, будучи неразрушающими, позволяют исследовать материал глубиной до нескольких микрометров и обнаруживать открытый объем в виде дефектов. Например, метод доплеровского уширения аннигиляционной линии с энергией 511 кэВ и медленный позитронный пучок были использованы для изучения гелий-имплантированного кремния и процессов восстановления поверхности в полупроводниковых стеклах.

Аннигиляция позитронов показала, как можно получить информацию об энергиях образования дефектов, миграции и кластеризации дефектов,

взаимодействиях вакансия-примесь, плотностях редких газов в пузырьках в металлах и профили плотности дефектов в приповерхностных областях [6].

1.2 Источники позитронов

Три основных метода получения позитронов:

1) Ядерный синтез

Основные ядерные реакции звезд высвобождают позитроны, такие как наше Солнце. В каждый момент времени происходят следующие реакции: четыре протона сходятся в одном гелии, одновременно выделяются два электронных нейтрино и два позитрона.

2) Преобразование фотонов

Фотоны достаточной энергии (>1022 кэВ) могут реагировать с электрическим полем, преобразуясь в электрон-позитронные пары с высокой степенью вероятности.

3) Радиоактивный распад

Например, радиоактивный изотоп Ti^{44} будет высвобождать позитроны через положительный β^+ -распад.

Позитроны для измерений ПАС обычно получают из β^+ - радиоактивных источников. Распад β^+ - описывается реакцией.



Где Z и A обозначают атомное и массовое число соответственно.

Материнское ядро A_ZX распадается на дочернее ядро ${}^A_{Z-1}X$. Распад сопровождается

излучением позитрона e^+ и нейтрино ν . Распределение энергии излучаемых позитронов определяется следующим выражению [7]:

$$\frac{dN}{dE} = D\sqrt{E(E + 2mc^2)}(E + mc^2)(E_{max} - E)^2 \quad (2)$$

Где m - статическая масса позитронов D - нормировочный коэффициент E - Энергия позитронов. Кинетическая энергия E испускаемого позитрона не может быть больше, чем так называемая конечная энергия $E_{max} = Q - 2mc^2$ Q - значение - это доступная энергия для распада, разделяемая позитроном. Коэффициент D зависит от E и Z . ($D = D(E, Z)$).

1.3 Поведение позитрона внутри материала

В позитроне существует три основных процесса от рождения до аннигиляция. Эти три процесса: термализация, диффузия и аннигиляция.

1.3.1 Термализация

Средняя энергия позитрона от источника радиоизотопа составляет около 10^2 - 10^3 кэВ. Попадая в материал, позитрон быстро теряет свою кинетическую энергию до тепловых значений.

$$E = k \cdot T \quad (5)$$

где k - $1,380649 \cdot 10^{-23}$ Дж/К постоянна Больцмана;

T - температура.

Позитроны, излучаемые радиоизотопом Ti^{44} , имеют непрерывную спектральную энергию с конечной энергией $E_{max} = 1,47$ МэВ. Когда позитрон проникает в твердое тело, он теряет свою кинетическую энергию ионизацией, возбуждением электронов [8-10] и рассеянием на фононах [11],

пока его энергия не снизится до тепловой энергии $3/2 kT$, т. е. $\approx 0,04$ эВ при комнатной температуре.

Этот процесс называется термализацией. В металлических материалах он занимает всего несколько пс. Профиль имплантации позитронов описывается функцией экспоненциальной плотности вероятности

$$P(z) = \alpha e^{-\alpha z}, \quad (6)$$

где z - глубина от поверхности образца, а параметр задается выражением.

$$\alpha[\text{см}^{-1}] \approx 16 \frac{d[\frac{\text{г}}{\text{см}^3}]}{E_{\text{max}}^{1,4}[\text{МэВ}]}, \quad (7)$$

где d -плотность металла;

E -максимальная энергия позитронов [7].

В таблице 2 показана глубина проникновения для некоторых элементов.

Таблица 2 – Средняя глубина проникновения позитрона в материал до термализации

Материал	Средняя глубина проникновения позитрона, мкм
Fe	135,7
Ti	235,4
Zr	164,3
Cu	119,8
Ni	120

В качестве источника позитронов используется Ti^{44} , Энергия гамма-фотона, испускаемого источником, составляет 1,156 МэВ. Энергия гамма-фотона аннигиляции позитронов составляет 0,511 МэВ.

1.3.2 Диффузия

Когда позитроны достигают тепловых значений энергии $E = \frac{3}{2}kT$, их пространственное распределение в образце в направлении падения (z) может быть описано как распределение Маркова.

$$P(z) = \frac{mz^{m-1}}{z_0^m} \exp\left[-\left(\frac{z}{z_0}\right)^2\right] \quad (8)$$

Где $z_0 = \frac{\bar{z}}{\Gamma(\frac{m}{2})}$; Γ - гамма-функция. Распределение изотропно в плоскости, параллельной поверхности. Средняя глубина имплантации \bar{z} считается степенным законом:

$$\bar{z} = AE^n \quad (9)$$

где E - энергия падающего луча, а A - постоянная. Формула (9) между падающей энергией и средней глубиной имплантации дает нам чувствительный к глубине зонд, который необходим для профилирования дефектов, изучения поверхностных состояний или плавления поверхности. Значение n зависит от энергии и изменяется от 1,16 при 3 МэВ до 1,68 при 10 кэВ [12,13].

Из моделирования методом Монте-Карло и из исследований многослойных структур было обнаружено числовое значение n для позитронов, но есть основания полагать, что это значение зависит от материала. Параметр формы m близок к 2, как показано на примере моделирования Монте-Карло и исследований многослойных структур [13]. В работе [Mills and Wilson, 1982; Vehanen, Saarinen, et al., 1987] определено, что значение A составляет величину, равную $4.0/\rho[\mu\text{g}/\text{cm}^2]$ [14].

1.3.3 Аннигиляция

Физические методы ЭПА подробно рассмотрены в классических работах [15-20].

Процесс исчезновения вещества после его столкновения с соответствующим антивеществом с одновременным образованием фотонов высокой энергии (γ -лучей), таких как столкновение электронов с позитронами, называется аннигиляцией.

Аннигиляция происходит в соответствии с уравнением Эйнштейна

$$E = mc^2, \quad (11)$$

где E – энергия фотонов, создаваемых в процессе аннигиляции;

m - масса аннигилирующего вещества;

c - скорость света.

Процесс аннигиляции позитронов и электронов с двухфотонной генерацией был впервые предложен Дираком в 1930 г. Процесс реакции выглядит следующим образом [1].



По формуле (11), мы получим $E = mc^2 = 0,511$ МэВ. Как правило, мы используем электрический сигнал, преобразованный фотонами этой энергии в качестве конечного сигнала.

В таблице 1 перечислены основные особенности изотопов, наиболее часто используемых в экспериментах ЭПА

Таблица 1 – Основные свойства источников позитронов, используемых в методах ЭПА.

Изотоп	Период полураспада	Выход позитронов	Максимальная энергия позитронов, МэВ	Энергия вторичного γ - кванта, МэВ
^{13}N	9,96 мин.	1	1,20	-
^{15}O	123 с.	1	1,74	-
^{18}F	110 мин.	0,97	0,63	-
^{19}Ne	17,4 с.	1	2,22	-
^{22}Na	2,6 лет	0,9	0,54	1,27
^{26}Al	$8 \cdot 10^5$ лет	0,85	1,17	1,81
^{44}Ti	47 лет	0,94	1,47	1,16
^{58}Co	71 дней	0,15	0,47	0,81
^{57}Ni	36 часов	0,46	0,85	1,37
^{68}Ge	275 дней	0,88	1,90	1,08
^{89}Zr	79 часов	0,22	0,9	-

1.3.4 Состояния позитронов в материале

Использование позитронов для изучения дефектов в металлах основано на том факте, что позитроны можно грубо разделить на два состояния в металлах. Первым является делокализованное состояние, а вторым - локализованное в дефекте состояние.

1.3.4.1 Делокализованное состояние и локализованное состояние

Делокализованное состояние - это состояние, в которых позитроны свободно перемещаются в решетке и не захватываются в дефектах.

Локализованное состояние - это состояние, в котором перемещение позитрона в материале ограничено пространственными размерами дефекта.

Локализованное состояние позитрона более стабильно, чем делокализованное, потому что у него меньше свободной энергии. Захват позитрона относится к переходу позитрона из делокального состояния в локализованное состояние.

1.3.4.2 Модель двух состояний позитронного захвата

Взаимодействие между позитронами и дефектами может быть описано моделью захвата. Модель двух состояний позитронного захвата предполагает, что позитрон находится в делокализованном состоянии, и одном локализованном состоянии в образце. В любое время t число позитронов является модельной функцией, производной числа позитронов от времени аннигиляции позитронов:

$$\frac{dN(t)}{dt} = -n_0 \left[\frac{I_1}{\tau_1} e^{-\frac{t}{\tau_1}} + \frac{I_2}{\tau_2} e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right], \quad (13)$$

где n_0 - общее количество позитронов, содержащихся во всем спектре, τ_1 и τ_2 - две составляющие времени жизни позитрона, I_1 и I_2 - интенсивности, соответствующие двум временам жизни соответственно.

$$\begin{cases} \frac{dn_f(t)}{dt} = -\lambda_f n_f(t) - \kappa n_f(t) + \gamma n_d(t) \\ \frac{dn_d(t)}{dt} = -\lambda_d n_d(t) + \kappa n_f(t) - \gamma n_d(t) \end{cases}, \quad (14)$$

где количество позитронов в делокализованном состоянии равно n_f , количество позитронов в локализованном состоянии равно n_d . Коэффициент аннигиляции составляет λ_f и λ_d , κ -коэффициент захвата позитрона дефектом, γ – коэффициент выхода позитрона из захваченного состояния в свободное состояние. Обычно предполагается, что $\kappa = \mu c_d$, μ – удельный коэффициент захвата дефекта позитронов, c_d - концентрация дефекта.

Начальное условие:

$$\begin{cases} n_f(0) = n_0 \\ \left. \frac{dn_f}{dt} \right|_{t=0} = -(\lambda_f + \kappa)n_0 \\ \left. \frac{dn_d}{dt} \right|_{t=0} = \kappa n_0 \end{cases} \quad (15)$$

Решение уравнений

$$\begin{cases} n_f(t) = n_0 e^{-\Gamma_1 t} \\ n_d(t) = n_0 \frac{\kappa}{\Gamma_1 - \Gamma_2} (e^{\Gamma_2 t} - e^{-\Gamma_1 t}), \end{cases} \quad (16)$$

где:

$$\begin{cases} \Gamma_1 = \lambda_f + \kappa \\ \Gamma_2 = \kappa \end{cases} \quad (17)$$

$$S(t) = \lambda_f n_f + \lambda_d n_d = I_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} + I_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}} \quad (18)$$

Из уравнения (18) видно, что экспериментально измеренный спектр времени жизни аннигиляции позитронов можно рассматривать как суперпозицию двух независимых компонентов времени жизни τ_1 и τ_2 , относительных интенсивностей I_1 и I_2 двух компонентов времени жизни соответственно. Величины интенсивностей и времени жизни являются экспериментально измеримыми величинами. Эта модель легко распространяется на модели захвата трех состояний или более сложные ситуации.

1.3.5 Методы позитронной аннигиляции

Метод электронно-позитронной аннигиляции (ЭПА) являются эффективным лабораторным методом для изучения дефектов и структур материалов в физике твердого тела и материаловедении [21].

Всего имеются три основных метода ЭПА:

- 1) Спектрометрия времени жизни позитронов (СВЖП);
- 2) Спектрометрия доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ);
- 3) Спектрометрия углового распределения аннигиляционных фотонов (УРАФ);

В следующем разделе описываются принципы двух методов (СВЖП и ДУАЛ).

1.3.5.1 Спектрометрия времени жизни позитронов (СВЖП)

СВЖП основана на измерении временных различий между исходным и аннигиляционным лучами. Эти временные различия соответствуют временам жизни отдельных позитронов. Поскольку временное разрешение имеет решающее значение в спектроскопии времени жизни, лучи детектируются сцинтилляционными детекторами, состоящими из фотоумножителей в сочетании с быстрыми сцинтилляторами. Аннигиляция позитронов - это случайный процесс. Скорость аннигиляции позитронов, то есть вероятность аннигиляции за единицу времени, получается как нерелятивистский предел двух сечений аннигиляции [22]:

$$\sigma = \frac{\sigma r_0^2 c}{v}, \quad (19)$$

где: r_0 - электронный радиус; c - скорость света; v - скорость электронов позитронов.

$$\lambda = \sigma_0 \cdot n_e \cdot v = \pi r_0^2 n_e c \quad (20)$$

Время жизни позитрона τ определяется как величина, обратная скорости аннигиляции позитрона $\tau = \frac{1}{\lambda}$. Следовательно, путем измерения времени жизни позитрона можно получить электронную плотность в образце, «видимом» позитроном.

Зависящий от времени спектр распада позитронов $D(t)$ в образце определяется как:

$$D(t) = \sum_{i=1}^{k+1} I_i \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right), \quad (21)$$

где k различных типов дефектов, способствующих захвату позитронов, связаны с $k+1$ компонентами в спектрах с отдельными временами жизни τ_i и интенсивностью I_i . Если в образце нет ловушки позитронов, то уравнение (21) можно сократить как

$$D(t) = \exp\left(-\frac{t}{\tau_b}\right) \quad (22)$$

где τ_b - время жизни позитрона в бездефектной образце. Спектр времени жизни позитрона $N(t)$ является абсолютной величиной производной по времени спектра распада позитрона $D(t)$,

$$N(t) = \sum_{i=1}^{k+1} \frac{I_i}{\tau_i} \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \quad (23)$$

Спектр на шкале времени сдвигается кабелем задержки в нулевое время t_0 , и, следовательно, время в формулах (21) и (23) должно быть заменено на $t-t_0$

Полученные экспериментально спектры отличаются от аналитического описания (23) в основном сверткой с функцией временного разрешения $F(t)$. В общем, оно аппроксимируется суммой нескольких гауссианов или одной

гауссианы с экспоненциальными хвостами. В случае использования пластиковых сцинтилляторов часто достаточно взять одну гауссовскую функцию $G(t)$ с центром в точке t_0 .

$$G(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\sigma}\right)^2\right] \quad (24)$$

Разрешение по времени характеризуется полной шириной на половине максимума, (the full width at half maximum, FWHM).

$$FWHM = 2\sigma\sqrt{\ln 2} \quad (25)$$

со стандартным отклонением σ . Свертка спектров (21) с $F(t)$ дает свернутый спектр распада и определяется как:

$$D(t) = \int_{-\infty}^{\infty} D(t-t')F(t')dt' \quad (26)$$

Если $F(t) = G(t)$, то есть в качестве функции разрешения принимается один гауссиан, спектр распада позитрона определяется как:

$$D(t) = \sum_{i=1}^{k+1} \frac{I_i}{2} \exp\left(-\frac{t-t_0-\frac{\sigma^2}{4\tau_i}}{\tau_i}\right) \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2\sigma\tau_i} - \frac{t-t_0}{\sigma}\right)\right] \quad (27)$$

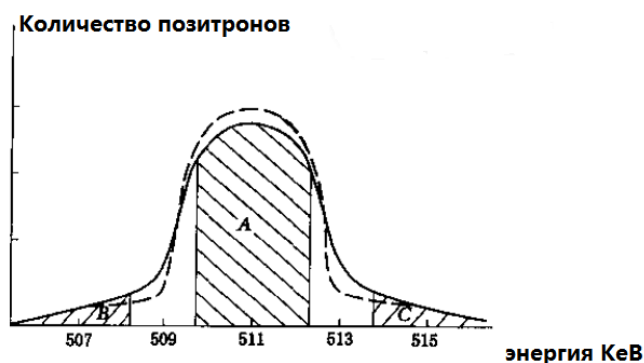
Формула (27)-это общее выражение спектра времени жизни позитронов.

1.3.5.2 Доплеровское уширение аннигиляционной линии (ДУАЛ)

Анализ спектра ДУАЛ заключается в получении информации о микроструктуре и импульсном распределении электронов в металлическом образце. Это достигается при помощи анализа линейных параметров спектров ДУАЛ.

Обычно используемые линейные параметры - это S и W .

Рис.1 представляет собой спектр с пиками при 0,511 МэВ. Общая площадь спектра составляет Δ . А обозначает область в пределах определенной ширины центральной части, а В и С представляют собой области двух крыльев в пределах определенной ширины.



Рисунлк 1- спектра ДУАЛ

Линейный параметр S определяется выражением $S = \frac{A}{\Delta}$.

На параметр S в основном влияет площадь центральной области, поэтому этот параметр в основном отражает аннигиляцию позитронов и электронов с низкой кинетической энергией (валентный электрон). При увеличении концентрации дефектов параметр S также увеличивается.

Линейный параметр $W = \frac{B+C}{\Delta}$

На параметр W в основном влияет площадь области «крыльев» спектра, поэтому этот параметр в основном отражает аннигиляцию позитронов и электронов с высокой кинетической энергией (остовные электроны). При увеличении концентрации дефектов параметр W уменьшается.

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Циркониевый сплав Э110

2.1.1 Сплав Э110

Сплавы на основе циркония широко используются для компонентов ядерных реакторов, таких как топливные оболочки, сетчатые распорки и направляющие трубы. В ядерных реакторах ниобийсодержащий сплав Э110 (Zr-1% Nb) используется как конструкционный материал для изготовления тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) в водо - водяных энергетических реакторах (ВВЭР).

Таблице 3 Состав сплава Э110 [23]

Сплав и год разработки	Массовая доля легирующего элемента, [%]			
	Nb	Sn	Fe	O
Э110(1958 г)	0,90-1,10	-	< 0,05	<0,099

В процессе ядерной реакции, ТВЭЛ находится в непосредственном контакте с водой, которая при высокой температуре является источником водорода. Водород в металле образует гидридную фазу. Объем гидрида, как правило, больше, чем объем решетки альфа-циркония. Следствием этого является сдавливающее воздействие гидрида другие части металла, так что в этих областях металла будет происходить деформация и движение дислокаций. Водород, взаимодействуя с дефектной структурой, оказывает воздействие на дислокационную структуру, влияя таким образом на механические характеристики изделия. Данные процессы приводят к снижению срока

эксплуатации ТВЭЛов. Другим параметром, влияющим на дефектную структуру является температура.

Таким образом, исследование влияния температуры и водорода на дислокационные дефекты в сплавах Zr-1Nb является актуальной задачей для продления срока службы оболочек ТВЭЛов.

2.1.2 Обработка сплава Э110

Исследуемые образцы циркониевого сплава толщиной 2,5 мм были отшлифованы до металлического блеска для удаления окисленного слоя и поверхностных загрязнений.

После шлифовки образцы были подвержены вакуумному отжигу при температуре 580 °С в течение 3 часов (технологический отжиг циркониевого сплава Э110). Операция этого этапа заключается в удалении дефектов внутри металла и получении чистого металла без дефектов [24].



Рисунок 2 - Вальцы (пара валов гладких)

Следующим шагом является создание дислокационной структуры внутри исследуемых образцов. Данная цель была достигнута с применением метода

холодной прокатки металлического образца. Толщина образца до прокатки составляла 2,05 мм, после холодной прокатки - 1,96 мм, а коэффициент деформации составил 4,3%. Для исследования эволюции дефектной структуры в циркониевом сплаве в зависимости от отжига, был применен метод аннигиляции позитронов - измерение Доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ). Данный метод позволяет определить вклад валентных и остовных электронов в процесс аннигиляции позитронов в металле.

Между измерениями образцы были отожжены при температурах в диапазоне 100 – 350 °С в течение 4 часов с шагом в 50 °С, а также при температурах 500 и 700 °С в течение 4 часов. Между процедурами отжига, образцы были исследованы методом ДУАЛ.

Для определения типа дефектов, бездефектный образец, образец после деформации, а также образец, отожженный при температуре 300 гр.Ц. были измерены также методом спектрометрии времени жизни позитронов.

2.2 Методы исследований

В качестве методов исследования дефектной структуры в данной работе были применены такие методы позитронной аннигиляции как спектрометрия времени жизни позитронов и спектрометрия Доплеровского уширения аннигиляционной линии

2.2.1 Спектрометр времени жизни позитронов

Основными модулями спектрометра времени жизни позитронов, используемого в данной работе являются модуль детектирования и спектрометрический тракт

Модуль детектирования

Основы модуля детектирования составляют быстрые сцинтилляционные детекторы. Сцинтилляционные детекторы обладают многими преимуществами, которых нет у других детекторов, такими как скорость, высокая эффективность обнаружения и способность обнаруживать различные типы заряженных частиц. Наиболее важным свойством сцинтилляционного детектора является способность обнаруживать как количество частиц, так и энергию частиц.

Сцинтилляционный детектор использует характеристики сцинтиллятора для испускания флуоресценции под действием излучения для обнаружения излучения. Используя фотоумножитель, чтобы преобразовать записанную флуоресценцию в электрический сигнал, а затем используя различные инструменты для разных целей в зависимости от эксперимента.

Рабочий процесс сцинтилляционного детектора можно разделить на пять стадий:

- 1) Излучение входит в сцинтиллятор, и сцинтиллятор поглощает энергию заряженных частиц для ионизации и возбуждения частиц сцинтиллятора;
- 2) Флуоресцентные фотоны генерируются, когда ионизованные возбужденные частицы де-возбуждены

- 3) Используя рефлектор, световод и силиконовое масло для сбора как можно больше флуоресцентных фотонов на фотокатод фотоумножителя;
- 4) Электроны, испускаемые из фотокатода, умножаются в фотоумножителе на несколько порядков, чего достаточно для генерирования электрического сигнала на анодной нагрузке;
- 5) Этот сигнал обрабатывается различными электронными приборами

Спектрометрический тракт спектрометра времени жизни позитронов

Спектрометрический тракт спектрометра, используемого в данной работе включает в себя: дискриминаторы постоянной составляющей (ДПС), блок наносекундной задержки (БНЗ), время-амплитудный преобразователь (ВАП). ДПС предназначены для фильтрации сигналов и временной привязки к событиям рождения и аннигиляции позитронов.

В ДПС, используемых в данной работе реализован метод следящего порога, как метод временной привязки.

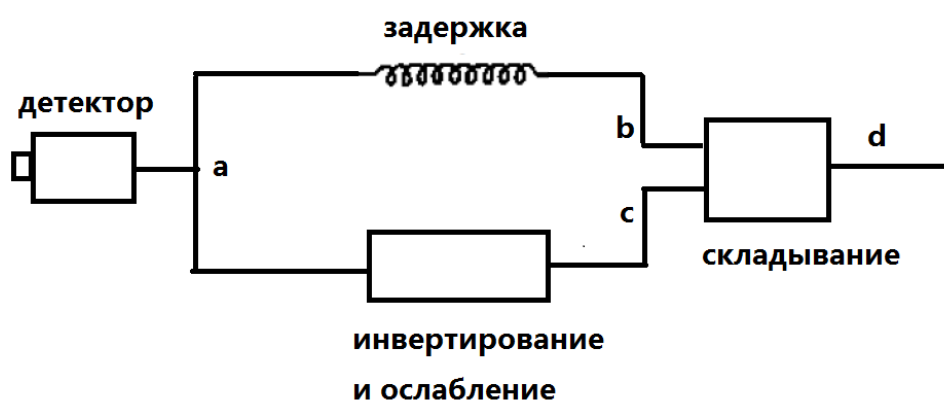


Рисунок 3 - Схема метода следящего порога

Когда возрастание фронта импульса максимальна, существует дискриминантный уровень, определяющий оптимальную временную точность. Этот уровень отличается для импульсов разных амплитуд. Поэтому, если установить пороговое значение для каждого импульса, можно получить наилучшие результаты.

С помощью вышеуказанных идей был разработан метод, который называется методом следящего порога в русской литературе. Фактически, этот метод не меняет пороговое значение, но сочетает в себе биполярный импульс и определяет нулевую точку биполярного импульса.

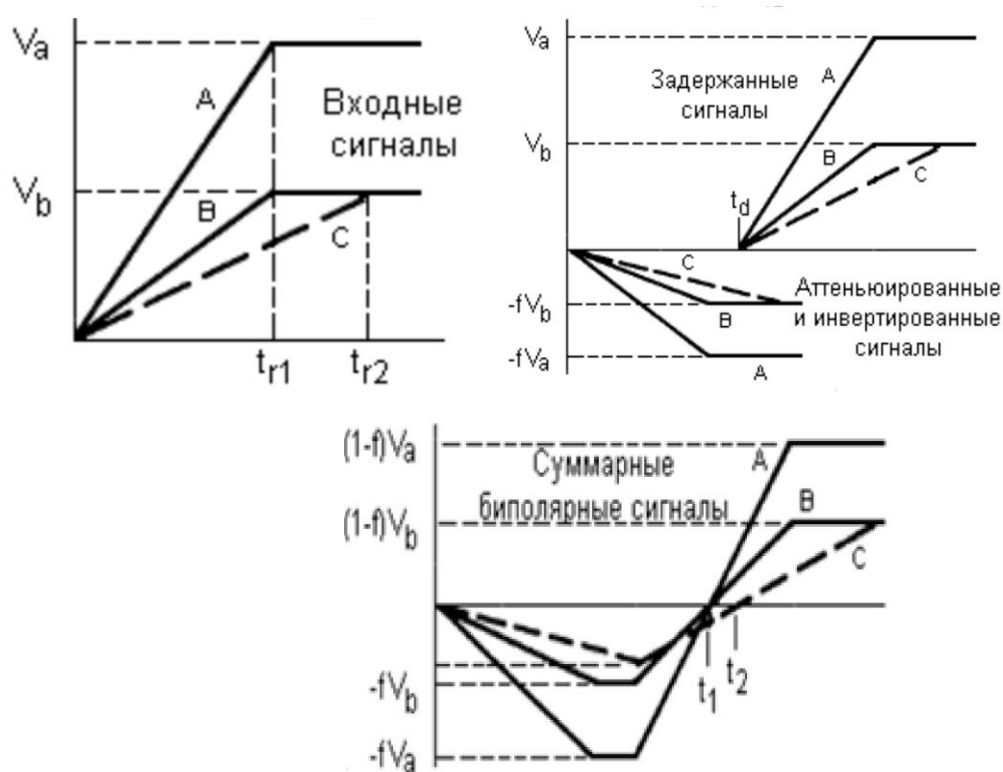


Рисунок 4 - Формирование сигналов в ДПС.

Сигналы с одинаковой амплитудой V разделяются на два сигнала для разных операций (Рисунок 4). Первый сигнал задерживается на t_d , второй сигнал

инвертируется на $-V$, а затем ослабляется с коэффициентом f . Коэффициент ослабления f определяет амплитудную долю, являющуюся оптимальной для синхронизации сигнала детектора.

Опоздание:

$$t_r * (1 - f) < t_d \quad (21)$$

где t_r -время нарастания переднего фронта входного сигнала.

Время пересечения нуля определяется

$$t_0 = t_r f + t_d \quad (22)$$

Выходной сигнал также должен поступать на дискриминатор переднего фронта, который предотвращает влияние шумовых импульсов на результаты обнаружения.

Схема используемого в данной работе спектрометра времени жизни представлена на Рисунке 5.

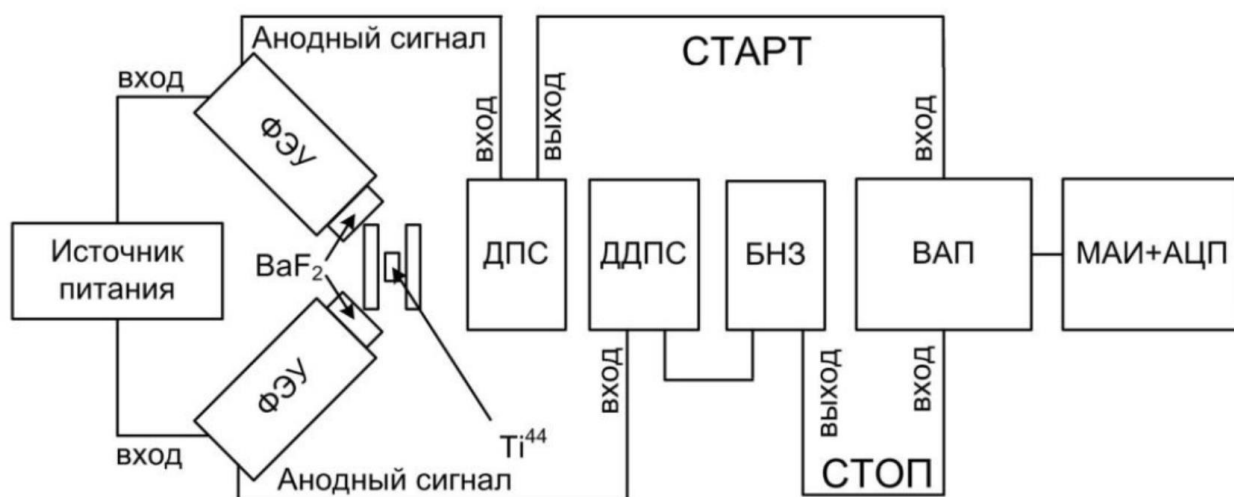


Рисунок 5 - Схема системы СВПЖ.

Гамма-кванты, возникающие в результате рождения и аннигиляции позитронов, регистрируются двумя сцинтилляционными детекторами. Кристаллы BaF₂ используются в качестве сцинтилляционного материала.

Сигналы от детектора принимаются на вход ДПС, осуществляется временная запись и энергетическая дискриминация. Сигнал с анода от детектора "старт" подается на ДПС, где установлено энергетическое окно для того чтобы захватить зону ядра пика. Сигналы "стоп" передаются от детектора к другому ДПС, где выбранное пороговое значение устанавливается для получения сигнала, соответствующего энергии (0,511 МэВ), соответствующей аннигиляции γ -кванта.

Сигналы "старт" от ДПС подаются непосредственно на вход ВАП, а сигналы "стоп" от ДПС подаются на вход ВАП через блок наносекундной задержки. Для задания спектра распределения времени аннигиляции позитронов сигналы от ВАП подаются в многоканальный анализатор импульсов, состоящий из аналого-цифрового преобразователя и персонального компьютера со специальным программным обеспечением.

При измерении мы поместили детекторы напротив друг друга. Между детекторами располагался исследуемый образец. Расстояние между двумя детекторами составляет приблизительно 1-2 см. Образец был расположен не в середине, а немного выше оси детекторов. Поскольку скорость счёта составляет только 55-65 раз/с, для одного измерения требуется около 18 часов, чтобы

записать более 5 миллионов событий. Таким образом, исследование каждого образца занимает около суток.

2.2.2 Спектрометр ДУАЛ

Измерение доплеровского уширения аннигиляционного излучения является важным и широко используемым методом по ЭПА. Аннигиляционная электрон-позиционная пара распадается обычно на два аннигиляционных фотона с энергией E_1 и E_2 . Полная энергия аннигиляционных фотонов равна.

$$E_1 + E_2 = \sqrt{m_0^2 c^4 + p_-^2 c^2} + \sqrt{m_0^2 c^4 + p_+^2 c^2} - E_B \quad (28)$$

Где $m_0 c^2$ - энергия покоя электрона, E_B - энергия связи электрона, p_-, p_+ , соответственно, - импульс электрона и позитрона.

Если позитрон в процессе аннигиляция рассматривается как частица, не имеющая импульса, то электрон в свою очередь имеет импульс, который не равен нулю. Ненулевой импульс электрона вызывает доплеровский сдвиг ΔE в энергии аннигиляционного фотона. Приведенное выше предположение сделано исходя из того, что импульс теплового позитрона в веществе очень мал ($p_- \rightarrow p_- +$), а доплеровский сдвиг зависит в основном от импульса электрона. Предполагая $p_- c \gg m_0 c^2$, энергия одного аннигиляционного фотона равна $E_1 = m_0 c^2 - \frac{E_B}{2} + \Delta E$, а энергия второго фотона равна $E_2 = m_0 c^2 - \frac{E_B}{2} - \Delta E$. Доплеровский сдвиг ΔE таким образом прямо пропорционален продольной составляющей p_l импульса электрона вдоль направления излучения фотона:

$$\Delta E = \frac{p_l c}{2} \quad (29)$$

Следовательно, доплеровский сдвиг несет информацию об одномерном распределении электронов по импульсам. Энергии фотонов, излучаемых в случае, когда термализованный позитрон аннигилирует с электроном, удовлетворяют следующим соотношениям:

$$E_1 - E_2 = 2\Delta E = p_l c \quad (30)$$

$$E_1 + E_2 = 2m_0 c^2 - E_B \quad (31)$$

Регистрация γ – квантов осуществляется двумя полупроводниковыми детекторами на основе особо чистого германия, сигналы с которых через усилители регистрируются цифровым дискретизатором. Энергетическое разрешение детектора составляет 1-3кэВ, что сопоставимо с доплеровским сдвигом, поэтому наблюдаемое изменение формы линии аннигиляционного пика относительно невелико.

Одноканальный амплитудный анализатор регистрирует все импульсы, амплитуды которых превращают некоторый нижний порог и не достигают верхнего порога. С помощью амплитудного анализатора анализируют распределение амплитуд случайного импульсного процесса, по зависимости числа появлений импульсов в заданном интервале амплитуд. Амплитудные окна на каждом канале устанавливаются так, чтобы проходили только импульсы от аннигиляционных гамма-квантов 0,511 МэВ.

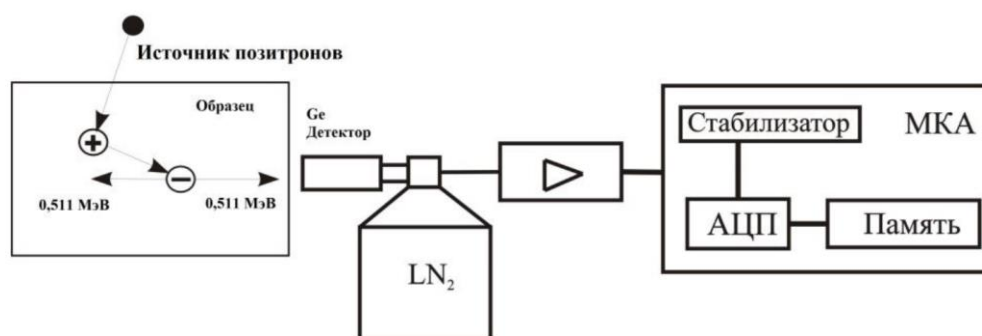


Рисунок 6 Система для измерения ДУАЛ. LN₂ – сосуд Дьюара с жидким азотом, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, МКА – многоканальный анализатор

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В реальных условиях атомных электростанций защитная труба из циркониевого сплава находится в охлаждающей среде при температурах 300°C - 350 °C. В таких условиях, в ходе пара-циркониевой реакции охлаждающая вода разлагается на водород и кислород. Водород и температура оказывают воздействие на дефектную структуру циркониевого сплава. Для определения влияния водорода на дислокационные дефекты, необходимо проводить насыщение водородом образцов циркониевого сплава с дислокациями при повышенных температурах. Для этого, в первую очередь необходимо определить влияние температуры на дислокационную структуру циркониевого сплава после деформации. В этой работе мы рассмотрим, как температура влияет на концентрацию дислокаций, используя методы позитронной аннигиляции.

В этой части мы используем два экспериментальных метода (ДУАЛ и СВЖП), которые описаны в разделе 2.2. Первый метод (ДУАЛ) был использован для того, чтобы определить эволюцию изменения концентрации дефектов при отжиге образца после деформации. Второй метод (СВЖП) был использован для определения типа дефектов в исследуемом материале.

3.1 Исследование влияния температуры отжига деформированного циркония на параметры Допплеровского уширения

Спектры Допплеровского уширения аннигиляционной линии в образцах циркониевого сплава Э110 до и после деформации, а также после отжига при различных температурах представлены на рисунке 8.

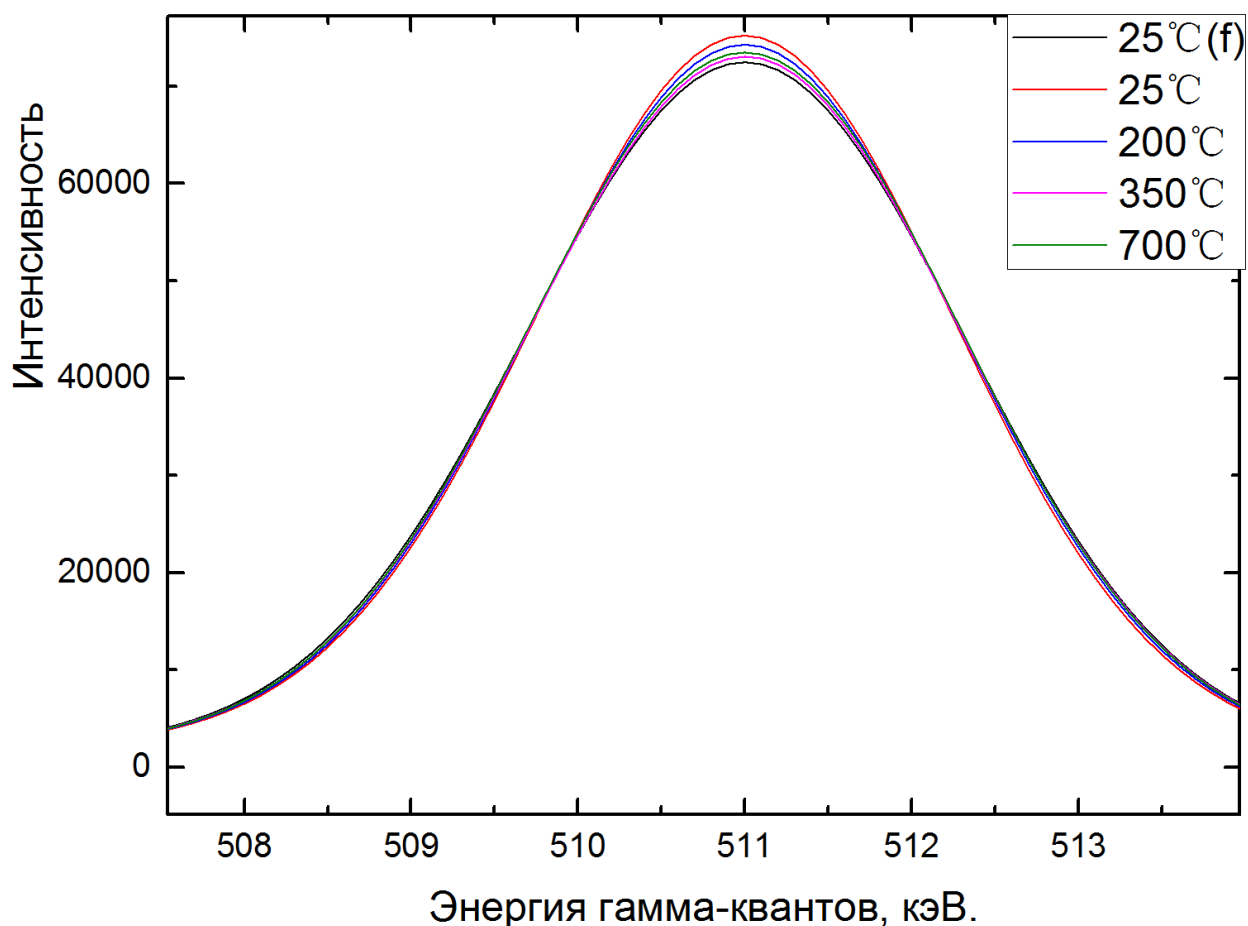
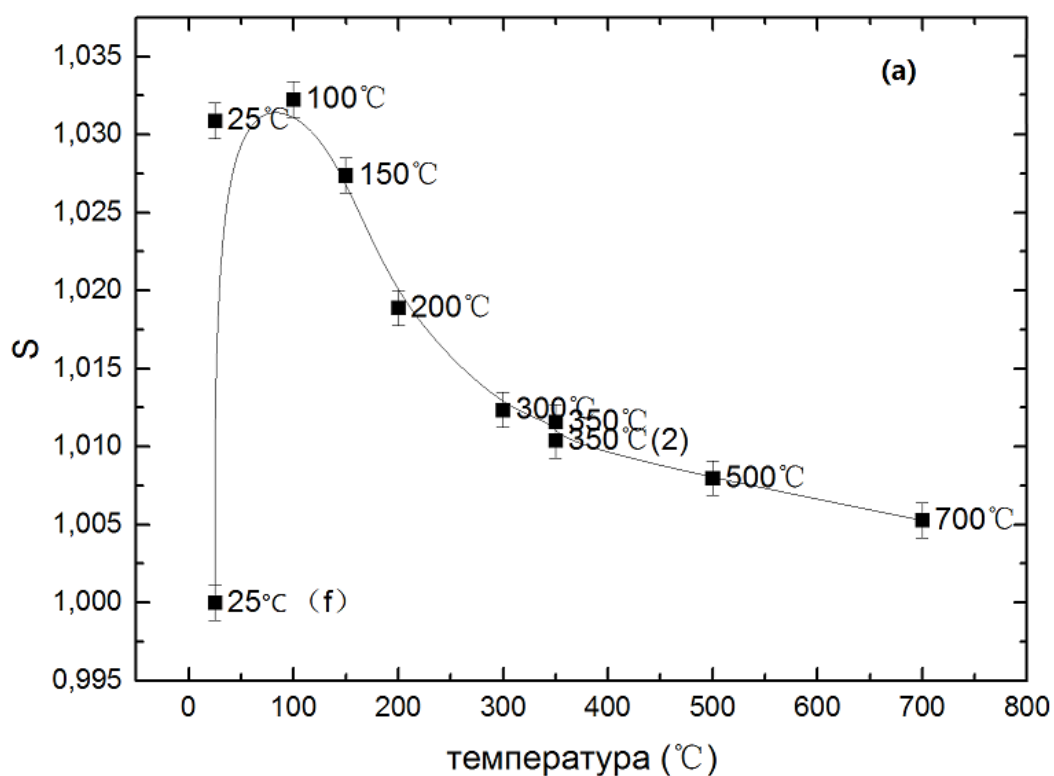


Рисунок 7 - Внешний вид спектров ДУАЛ для образцов циркониевого сплава, подвергнутых деформации и последующему отжигу.

Из представленных данных, видно, что спектры отличаются по своей форме. Это говорит о разном состоянии дефектной структуры, определяющей распределения электронов по импульсам в данном исследовании. Видно, что с увеличением температуры отжига, площадь центральной области постепенно уменьшается, а площадь крыльев постепенно увеличивается. Форма представленных спектров была оценена при помощи S- и W-параметров.

Зависимость параметров формы спектров ДУАЛ от температуры представлена на Рисунке 8.

Видно, что образец после деформации обладает гораздо более высоким значением S и пониженным W -параметром по сравнению с исходным, бездефектным сплавом. Это вызвано созданием высокой плотности структурных дефектов после деформации.



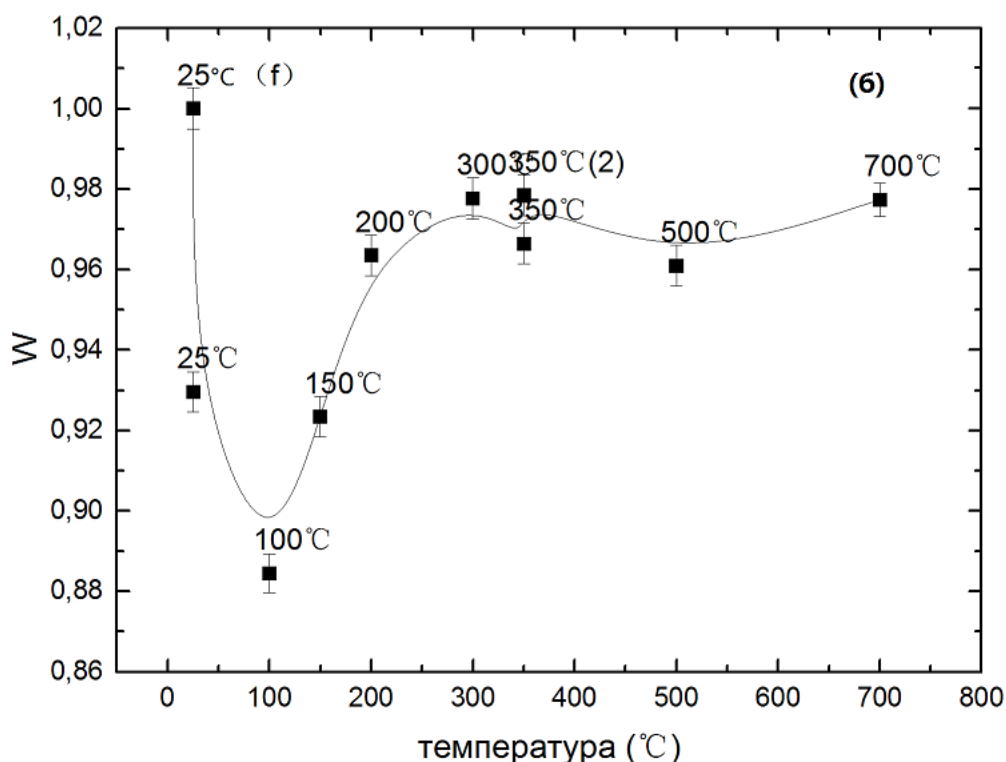


Рисунок 8 - Зависимость параметров формы спектров ДУАЛ образцов циркония, подвергнутых механической деформации и последующему отжигу при различных температурах: (а) зависимость S-параметра от температуры (б) зависимость W-параметра от температуры Т (в)

Также, очевидно, что по мере увеличения температуры, параметр S уменьшается, в то время как параметр W растет. Уменьшение параметра S указывает на уменьшение концентрации свободных электронов, а увеличение параметра W указывает на увеличение концентрации остовных электронов. Это явление иллюстрирует снижение плотности дислокаций в циркониевом сплаве, поскольку дислокации являются дефектом, обладающим свободным объемом.

При этом, можно заметить, что после отжига при температуре эксплуатации циркониевых ТВЭЛов ядерных реакторов (300-350 гр.Ц.), значения S- и W-

параметров все еще превышают значения параметров формы спектров исходного материала. Это говорит о том, что плотность дефектов остается повышенной. Такая же ситуация наблюдается вплоть до высокотемпературного отжига при 700 гр.Ц.

Температурное циклирование образца циркониевого сплава при 300 гр.Ц. не приводит к изменению параметров формы, что говорит о том, что данная процедура не влияет на дефектную структуру. Вывод, который исходит из этих утверждений, говорит о целесообразности проведения эксперимента по насыщению образца циркониевого сплава Э110 водородом при температуре 300 гр.Ц. с предшествующим отжигом при той же температуре для исследования взаимодействия дефектов, образованных в процессе пластической деформации с водородом.

Зависимость S-параметра от W-параметра представлена на Рисунке 9. Из рисунка видно, что зависимость имеет линейный характер. Это свидетельствует о том, что в сплаве имеется только один преобладающий тип дефектов, который не меняется при отжиге.

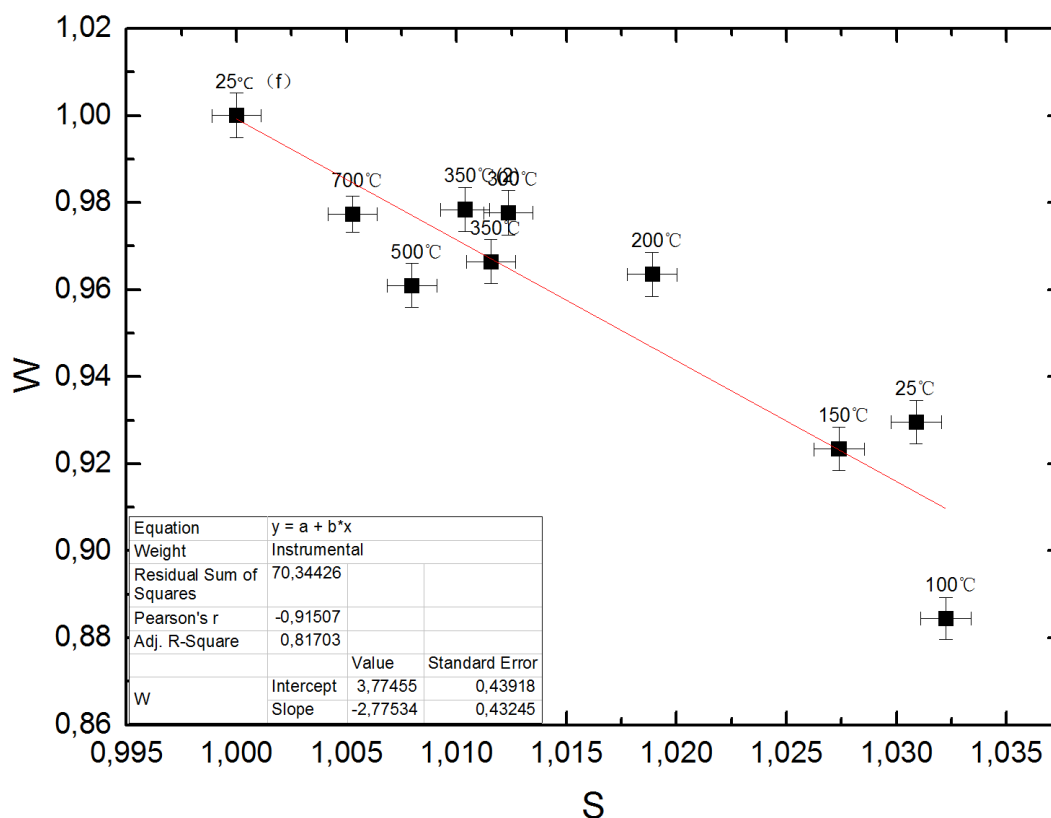


Рисунок 9 - Зависимость S-параметра от W-параметра спектров ДУАЛ, набранных в образцах циркониевого сплава Э110 после холодной прокатки и отжига при различных температурах (f-это металл без дефектов).

Для определения типа дефектов, присутствующих в исследуемых образцах, были набраны спектры времени жизни позитронов в образцах до и после прокатки, а также после отжига при температуре 300 гр.Ц.

3.2 Исследование влияния температуры отжига деформированного циркония на параметры времени жизни позитронов

Спектры времени жизни позитронов для образцов циркониевого сплава Э100 до и после прокатки, а также после отжига при температуре 300 гр.Ц. представлены на рисунке 10.

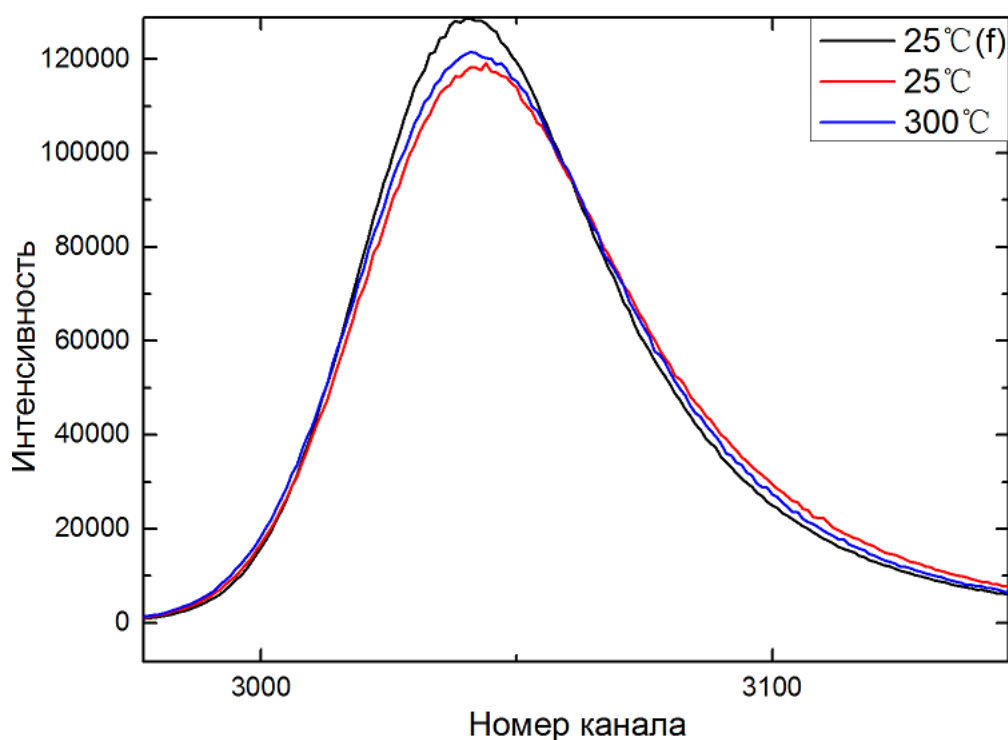


Рисунок 10- Спектр времени жизни позитрона после различных обработок

Из представленных данных видно, что спектры времени жизни отличаются по форме («дефектные спектры» характеризуются более широким распределением, чем «бездефектные»).

Для математической обработки полученных спектров была использована программа LT10 для обработки данных.

В ходе обработки была использована стандартная двухкомпонентная модель захвата опзитронов дефектами. Учитывая, что некоторые позитроны аннигилируют прямо в источнике, в дополнение к экспоненциальным компонентам образца были добавлены компоненты источника.

Результаты разложения спектров времени жизни позитронов представлены в Таблице 4. Результаты обработки приведены ниже.

Таблице 4. Время жизни позитрона и интенсивность каждой компоненты в сплаве Э110.

Образец	Время жизни первой экспоненциальной компоненты, пс	Время жизни второй экспоненциальной компоненты, пс	Интенсивность второй компоненты	Среднее время жизни, пс
Исходный	159	—	—	—
Образец после деформации		212	88,597%	194
Образец после деформации и отжига 300 °С			30,739%	164

Анализ полученных данных показал, что время жизни позитронов в исходном образце циркониевого сплава составляет 159 пс, что согласно литературным данным, соответствует времени жизни позитронов в бездефектной решетке циркония [24].

Среднее время жизни позитронов в образце после деформации составило 194 пс, что говорит о значительном росте свободного объема в виде дефектов в данном образце. Разложение спектра на две экспоненциальные компоненты выявил наличие дефектной компоненты с временем жизни 212 пс и интенсивностью около 90 %. Значение времени жизни меньше времени жизни позитронов в вакансии циркония [24] и соответствует времени жизни позитронов

в дислокации циркония. Изменение в интенсивности дефектной компоненты снижается на треть при отжиге при температуре 300 градусов Цельсия, однако интенсивность дислокаций все еще достаточна для проведения дальнейшего эксперимента по насыщению водородом образцов сплава Э110 после холодной прокатки.

3.3 Вывод работы

В ходе проведенного исследования была изучена эволюция дислокационных дефектов в циркониевом сплаве Э110 при отжиге. В результате было показано что:

- 1) с повышением температуры концентрация дислокаций постепенно снижается;
- 2) после отжига при разных температурах в материале остается только один тип дефектов;
- 3) после отжига при 350 °С в сплаве сохраняется определенная концентрация дислокаций;
- 4) основным типом дефектов, захватывающих позитроны в данном эксперименте является дислокация.

Ввиду того, что при температуре отжига 300-350 °С дислокационные дефекты все еще присутствуют в материале, а также данная температура достаточна для дальнейшего насыщения водородом из газовой фазы, это делает возможным дальнейший эксперимент по насыщению водородом

деформированных образцов и исследование влияния водорода на дислокационные дефекты в сплавах циркония.

ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Организация и планирование работ

В процессе организации реализации конкретных проектов необходимо разумно планировать ситуацию с занятостью участников и рабочее время каждого человека. В следующей таблице 5 перечислены люди и имена, вовлеченные в работу.

Таблица 5 Участники проекта

№ раб.	Исполнители	Имя
1	Научный руководитель (НР)	Бордулев Юрий Сергеевич
2	Исследователь (И)	Сюй Ханьюй

При проведении исследований в выпускной работе необходимо строить рабочие группы для того, что достигнуть и выполнить конкретную цель. Для разных видов работ установите соответствующую должность исполнителя.

Таблица 6 Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР	НР – 100%
Определите тему и обсудите фактическое применение, связанное с темой.	НР, И	НР – 30% И – 100%

Разработать экспериментальный план и график	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	НР – 100% И – 50%
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	НР – 100% И – 80%
Горячая обработка металлических материалов и сбор экспериментальных данных	НР	НР – 100% И – 80%
Экспериментальный анализ данных	НР, И	НР – 20% И – 80%
Оформление расчетно-пояснительной записки	НР, И	НР – 40% И – 80%
Оформление графического материала	НР, И	НР – 100% И – 80%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

4.1.1 Продолжительность этапов работ

Метод исследования-опытно-статистический метод, который может быть реализован двумя способами: 1) аналоговый, 2) экспертный. Аналоговый метод возможен только при наличии устаревшего симулятора в поле зрения исполнителя. В большинстве случаев его можно применять только локально - для отдельных элементов (этап работы). Так что выбирайте экспертный метод для оценки. Экспертные методы пригодны для использования при отсутствии информационных ресурсов, а эксперты в конкретных предметных областях

проводят необходимые количественные оценки на основе своего профессионального опыта.

Рассчитайте время, необходимое для каждого шага работы, по следующей формуле:

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4t_{prob} + t_{max}}{6} \quad (32)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д} \quad (33)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, $K_{вн} = 1,2$;

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ, $K_{д} = 1,1$

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T_{к} \quad (34)$$

где $T_{кд}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{к}$ – коэффициент календарности, решение по формуле:

$$T_{к} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22 \quad (35)$$

где $T_{кал}$ – календарные дни ($T_{кал} = 365$);

$T_{вд}$ – выходные дни по кадровым вопросам.

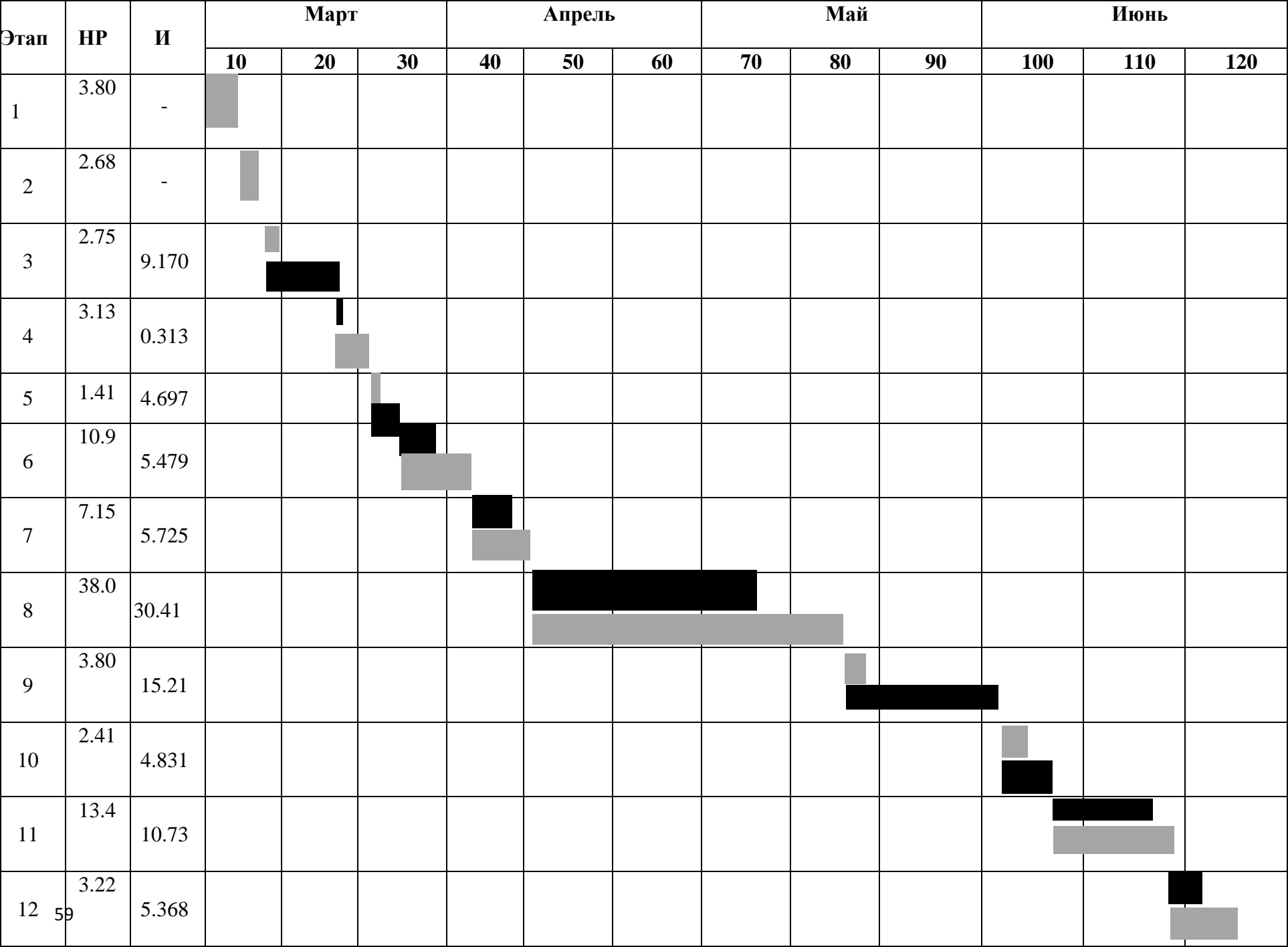
$T_{пд}$ – праздничные дни по кадровым вопросам.

Рассчитайте время, необходимое для работы на каждом этапе из таблицы 7, и сделайте следующие выводы:

Таблицы 7 Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнитель и	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка целей и задач	НР	3	4	3.4	3.11 6	-	3.802	-
Составление и утверждение ТЗ	НР	2	3	2.4	2.2	-	2.684	-
Определите тему и обсудите фактическое применение, связанное с темой.	НР, И	7	10	8.2	2.25 5	7.516	2.751	9.170
Разработать экспериментальный план и график	НР, И	2	4	2.8	2.56 6	0.256	3.131	0.313
Обсуждение литературы	НР, И	3	6	4.2	1.15 5	3.85	1.409 1	4.697
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	7	14	9.8	8.98 3	4.491	10.95 9	5.479
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	4	10	6.4	5.86 6	4.693	7.157	5.725
Горячая обработка металлических материалов и сбор экспериментальных данных	НР	30	40	34	31.1 6	24.93	38.02	30.41
Экспериментальны й анализ данных	НР, И	15	20	17	3.11 6	12.46	3.802	15.20 9
Оформление расчетно- пояснительной записки	НР, И	5	6	5.4	1.98	3.96	2.415 6	4.831 2

Оформление графического материала	НР, И	10	15	12	11	8.8	13.42	10.73 6
Подведение итогов	НР, И	4	6	4.8	2.64	4.4	3.220 8	5.368
Итого:				110.4	76.0 4	75.36	92.77	91.94



НР – ; И –

4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Стоимость создания проекта включает в себя все затраты, необходимые для реализации каждой из задач, которые составляют эту разработку. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат: материалы и покупные изделия; заработная плата; социальный налог; расходы на электроэнергию (без освещения); амортизационные отчисления; командировочные расходы; оплата услуг связи.

4.2.1 Расчет затрат на материалы

Во-первых, расходы включают материальные затраты, приобретенные продукты, полуфабрикаты и другие материальные ценности, которые непосредственно потребляются при работе объекта проектирования. Для покупки большого количества предметов, например цены листа сплава Э110, мы используем метод взвешивания. Цена за единицу товара принимается за среднюю рыночную цену. Хотя цена на оптовую торговлю будет намного ниже, чем средняя рыночная цена, мало влияет на небольшое количество протестированных образцов.

Таблицы 8 Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Единица измерения	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Источник Ti^{44}	см ²	3500	1	3500
Наждачная бумага (А4)	штук	150	8	1200
Бумага (А4)	штук	2	240	480
Сплав Э110(10см*10см)	штук	20	2	40
Защитные перчатки	штук	25	8	200
Итого:				5420

4.2.2 Расчет заработной платы

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{дн-т}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн} - т = \frac{МО}{\frac{298}{12}} = \frac{МО}{24,83} \quad (36)$$

Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:

$$К_{ПР} = 1,1; К_{доп.ЗП} = 1,188; К_{р} = 1,3. \quad (37)$$

Поэтому необходимо добавить тарифы к базовой зарплате и оценить соответствующий коэффициент. Формула для расчета коэффициента выглядит следующим образом

$$К_{и} = К_{ПР} * К_{доп.ЗП} * К_{р} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699. \quad (38)$$

Таблицы 9 Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	26624	887,4	76	1,699	114584,6
И	15470	641,8	75	1,699	81743,5
Итого:					196328,1

4.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту.

$$С_{соц.} = С_{зп} * 0,3 = 196328,1 * 0,3 = 58898,43 \text{руб.} \quad (39)$$

4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Рассчитайте счет за электроэнергию, необходимый для теста. Вам нужно знать местную цену на электроэнергию, мощность устройства и сколько времени использовать, рассчитываемые по формуле:

$$С_{эл.об.} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot Ц_{э} \quad (40)$$

где $P_{об}$ – мощность кВт;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

$Ц_{э}$ – цена на 1 кВт·час; $Ц_{э} = 5,748 \text{руб./кВт.час}$ (в ТПУ).

Поскольку спектральные данные были записаны, экспериментальное оборудование работало 24 часа, и данные были получены в режиме реального времени с помощью удаленного компьютера. Поскольку экспериментальный метод имеет излучение частиц высокой энергии, он минимизирует контакт между людьми и оборудованием. Эта операция приведет к тому, что рабочее время экспериментального оборудования будет больше рабочего времени человека.

В таких случаях $t_{об}$ определяется путем прямого учета, особенно если использование соответствующего оборудования ограничено.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{ОБ} = P_{ном.} * K_C \quad (41)$$

где $P_{ном.}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C = 1$ (оборудование малой мощности).

Результаты расчета стоимости электроэнергии следующие таблице.

Таблице 10

№ п/п	Наимено вание оборудования	Время работы $t_{об}$ (ч)	Потребл яемая Мощность $P_{об}$ (кВт)	Цена единицы оборудовани я, $C_{э}$ (к Вт/ч);	Затраты на электроэнергию, руб.
1.	Детекторы	648	0,05	5,8	186,2
2.	ФЭУ	648	0,01		37,2
3.	ДПС	648	0,03		111,7
4.	Системы совпадения	648	0,02		74,5
5.	Источник питания	710	0,03		122,4
6.	Компьютер многоканально го анализа	648	0,2		744,9
7	Монитор	110	0,09		56,9
	Итого	4060	0,43		1333,9

4.2.5 Расчет амортизационных расходов

В учете затрат учитывается не только счет за электроэнергию оборудования, но и амортизация оборудования. Используется формула.

$$C_{AM} = \frac{H_A * C_{OB} * t_{pf} * n}{F_d} \quad (42)$$

где H_A – годовая норма амортизации; ($H_A=12,5\%$ по приложению 1)

C_{OB} – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР.

F_d – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования. ($301*24=7224$ ч)

t_{pf} – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, задается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Результаты расчета нормы амортизации в таблице 11.

Таблицы 11

№	Наименование оборудования	Количество (n).	Цена единицы оборудования, руб (C_{OB})	Общая стоимость оборудования, руб.	Время работы t_{pf} (ч)	Амортизация руб
1.	Детекторы	2	580 000	1160000	648	13000
2.	ФЭУ	2	390 000	780000	648	8750
3.	Системы совпадения	1	850 000	850000	648	9530
4.	ДПС	2	1200000	2400000	648	26910
5.	Источник питания	1	5 70000	570000	710	7010
	Итого			5190000		65200

4.2.6 Непосредственно учитываемые расходы

Стоимость этой части в основном зависит от двух аспектов.

- 1) Стоимость посещения научной конференции;
- 2) Заводские затраты на холодную прокатку экспериментальных образцов.

Регистрационный взнос для участия в научной конференции составляет 100 рублей, а конференция длится два дня. Стоимость холоднокатаного металлического образца составляет 570 рублей и работа завершается за один день.

$$C_{\text{нр}} = (2 + 1) \cdot 100 + 1000 + 570 = 1870 \text{ руб.} \quad (43)$$

4.2.7 Расчет прочих расходов

Пункт «Прочие расходы» отражает стоимость выполненного проекта, которые не учтены в предыдущих статьях. Они должны равняться 10% всех предыдущих затрат, т.е.

$$\begin{aligned} C_{\text{проч.}} &= (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нр}}) \cdot 0,1 \\ C_{\text{проч.}} &= (5420 + 196328,1 + 48898,4 + 1333,9 + 65200 + 1870) \cdot 0,1 = 31905.04 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (44)$$

4.2.8 Полная стоимость исследования

Консолидировать и суммировать расходы по вышеуказанным разделам. Все затраты на этот эксперимент представлены в таблице 12 ниже.

Таблицы 12 Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	5420,0
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	196328,1
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	58898,4
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1333,9
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	65200
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	1870,0
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	31905,04
Итого:		360955,44

Исследование стоило всего 360955,44 рублей. Этот эксперимент не имеет рыночного значения, только для изучения защиты материалов из сплава циркония в ядерных реакторах. Следовательно, оценка его экономической эффективности невозможно.

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Работы с помощью метода доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ) и метода спектрометрии времени жизни позитронов (СВЖП) проходили в исследовательской лаборатории кафедры Общей Физики, в которой находятся приборы, позволяющие получать фактическую информацию о явлении импульсного распределения электронов в среде аннигиляции.

Для обеспечения безопасной работы для сотрудников, общества в целом и окружающей природной среды необходимо разработать серию технических и организационных мероприятий, которые смогли бы свести к минимуму отрицательные последствия проектируемой исследовательской деятельности.

Задачей данного раздела является выполнение и анализ вредных и опасных факторов труда физика, и разработка мер защиты от них. В разделе также рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.

1. ГОСТ 12.2.003, Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

(Определение рабочего права на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда.)

2. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

(Определение предельных значений микроокружения рабочей среды.)

3. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты.

Общие технические требования, основные параметры и размеры.

(Процесс экранирования источника излучения и рабочего места выполняется с помощью специальных экранов, сконструированных по ГОСТ 12.4.154)

4. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ "Шум. Общие требования безопасности."

(Оптимальный уровень шума ограничен . ГОСТ 12.1.003-83.)

5. СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

(Оптимальный уровень шума ограничен СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002.)

6. СНиП 23-05-95. "Естественное и искусственное освещение".

(Согласно СНиП 23-05-95, освещенность не должна быть ниже 150 Лк в лаборатории, при непрерывном нахождении работников в помещении.)

7. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

(Согласно с ГОСТом 12.1.004–91, корпус 3 ТПУ Н4-лаборатория имеет отношение к категории Г)

8. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [27-34].

(В соответствии с ГОСТом Р 12.1.019–2009 данное производственное помещение относится к последнему классу напряжения и является особенно опасной зоной с риском поражения электрическим током.)

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

Рациональная и правильная организация рабочего места имеет важнейшее значение, так как здесь осуществляется сам процесс труда. Здесь должно достигаться качественное и своевременное изготовление продукции или предоставление услуги. Организация рабочих мест на предприятии имеет прямую взаимосвязь с его производительностью.

По ст. 219 ТК РФ все трудящиеся вправе претендовать на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда и ГОСТам: 12.2.003, 12.3.002, 12.2.032, 12.2.033, 12.2.049.

Руководители организаций обязаны заботиться о правильной организации мест труда. Это позволяет не только обезопасить сотрудников, но также рационально расходовать время трудящихся. Соблюдая простые требования к рабочему месту, можно повысить производительность и эффективность. Сотруднику на нем будет работать комфортно и удобно.

5.2 Профессиональная социальная безопасность.

Согласно ст.14 закона "Об основах охраны труда в Российской Федерации" работодатель обязан обеспечить соответствующие требованиям охраны труда условия труда на каждом рабочем месте.

Условия труда - это совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье человека в процессе труда. Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 13 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Р азраб	Изг отов	Экс плуа	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Приводятся нормативные документы, которые регламентируют действие каждого выявленного фактора с указанием ссылки на список литературы.
2. Превышение уровня		+	+	

шума			
3. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

5.2.1.1 Климатические условия.

Метеорологические условия в производственном помещении имеют значительное влияние на состояние здоровья человека: его самочувствие, производительность, работоспособность. Микроклимат производственной среды определяют с помощью таких свойств как: температурный режим, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха. Допустимые значения полученных данных, характеризующих микроклимат в лаборатории обязаны быть аналогичными с величинами, которые указаны в таблице согласно ГОСТу 12.1.005-88. Инженеры-разработчики занимаются работой, которая относится к разряду легких. Положенные значения показателей в данном случае приведены в таблице 14.

Таблица 14– Допустимые показатели микроклимата

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения
-------------	------------------	-----------------	----------------------------	-------------------

				воздуха, м/с
Холодный	Легкая	20 – 22	41 - 76	≤ 0.1
Теплый	Легкая	21 - 23	40 - 74	≤ 0.2

Лаборатория отапливается с помощью водяного радиаторного типа нагрева помещения. Так же в производственном помещении функционирует система вентиляции, так как детекторам работы необходимо охлаждение посредством жидкого азота. Мы измерили все необходимые показатели микроклимата в лаборатории и выяснили, что они имеют соответствие допустимым нормам.

5.2.1.2 Агрессивные вещества

Данная исследовательская работа предполагает осуществление метода совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии (СДУАЛ), который позволяет добиться точной информации об импульсном распределении электронов и химическом окружении в зоне аннигиляции. Для этого мы используем титан распада как источник позитронов для их аннигиляции в веществе.

Облучение гамма-квантами может вызвать лучевую болезнь (в острой и хронической формах). Развитие недуга будет зависеть от полученной дозы и продолжительности облучения. Стохастические эффекты облучения содержат разного рода онкологические заболевания. Одновременно с этим, гамма-облучение подавляет активацию роста раковых и других быстро делящихся опухолевых клеток. Так, гамма-излучение - это мутагенный и тератогенный фактор.

Правил и норм пользования средствами защиты, которые функционируют от действия ионизирующих излучений, существует достаточно много. Основополагающими из них выступают следующие:

1. ГОСТ 12.2.018-76 «ССБГ. Аппараты рентгеновские. Общие требования безопасности»;
2. ГОСТ 12.4.011-75 «ССБТ. Средства защиты работающих. Классификация»

5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.

5.2.2.1 Производственный шум

Шум в окружающей среде создается одиночными или комплексными источниками, находящимися снаружи или внутри здания. [25].

Под воздействием шума, превышающего 85-90 дБА, снижается слуховая чувствительность. Сильный шум вредно отражается на здоровье и работоспособности людей. Человек, работая при шуме, привыкает к нему, но продолжительное действие сильного шума вызывает общее утомление, может привести к ухудшению слуха [26].

5.2.2.2 Освещенность рабочего пространства

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, в которой проходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при непрерывном нахождении работников в помещении, освещенность не должна быть ниже 150 Лк. Грамотно спроектированное и выполненное освещение способно обеспечить высокую степень работоспособности, позитивно влияет на человека и способствует повышению производительности труда.

Площадь помещения рассчитывается по формуле:

$$S = A \times B \quad (45)$$

где A – длина, м; B – ширина, м.

Получается, что,

$$S = 5 \times 3,2 = 16 \text{ м}^2. \quad (46)$$

Коэффициент отражения стен, которые недавно побелены с окнами, без штор равен 50%, а свежепобеленного потолка составляет 70%. Коэффициент запаса, который учитывает загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $KЗ = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$. Если мы выберем лампу дневного света ЛД-30, световой поток которой равен $\Phi_{ЛД} = 1800 \text{ Лм}$.

Рассматривая светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-30, выясним, что в нем две лампы имеют мощность 30 Вт каждая, длина светильника равна 925 мм, ширина – 265 мм, высота 125 мм.

Высота светильника над рабочей поверхностью вычисляют с помощью формулы:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м}. \quad (47)$$

Расстояние светильников друг от друга или от соседних рядов вычисляется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ м}. \quad (48)$$

Число рядов светильников в помещении

$$Nb = (B - 2/(3 \cdot L))/L + 1 = (3,2 - 2/3 \cdot 2,2)/2,2 + 1 = 1,8 \approx 2 \quad (49)$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A - \frac{2}{3}L}{L_{св} + 0,5} = \frac{5 - \frac{2}{3} \cdot 2,2}{0,925 + 0,5} = 2,47 \approx 2 \quad (50)$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 2 \cdot 2 = 4 \quad (51)$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{1}{3} = \frac{2,2}{3} = 0,7 \text{ м} \quad (52)$$

Данные светильники размещаются в два ряда.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{5 \cdot 3,2}{2,0 \cdot (5 + 3,2)} = 0,98 \quad (53)$$

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{П}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot n} = \frac{200 \cdot 5 \cdot 3,2 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{4 \cdot 2 \cdot 0,416} = 1586,5 \text{ лм} \quad (54)$$

В данной формуле E – это нормированная освещенность нашей лаборатории, которая равна 200Лк согласно СНиП 23-05-95.

Затем проверяем, выполнены ли все заданные условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%; \quad (55)$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{1800 - 1586,5}{1800} \cdot 100\% = 11,9\% \quad (56)$$

Так, получается, что: $-10\% \leq 11,9\% \leq 20\%$, световой поток, который нам необходимо получить от светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

В соответствии с нормами, гамма-лучи имеют отношение ко всем группам критических органов человека по радиочувствительности, относительная биологическая эффективность (ОБЭ) гамма-лучи принята равной 1, а его ПДД равна 0,1 рад/неделя.

Человек может защититься от вредного влияния гамма-излучения с помощью следующих способов:

СКЗ (Средства коллективной защиты)

- защита временем;
- защита расстоянием;
- экранирование источника;

СИЗ

Использование средств индивидуальной защиты (СИЗ), включает применение очков, специальной одежды и перчаток. Однако необходимо заметить, что использование СИЗ возможно в случаях кратковременных работ. Это мера аварийного характера. По окончании выполнения лабораторной работы необходимо тщательно вымыть руки.

Процесс экранирования источника излучения и рабочего места выполняется с помощью специальных экранов, сконструированных по ГОСТ 12.4.154. Данная исследовательская работа предполагает использование свинцового экрана для защиты. В этом случае интенсивность гамма-излучения будет понижена, но полностью прекращено оно не будет. Оптимальный уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимально возможный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. В нашем производственном помещении данный параметр достигал значению в 60 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

СКЗ

- устранить возможные причины шума или значительно ослабить его в источнике образования;
- изолировать источники шума от окружающей среды с помощью мер звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;

СИЗ

- использовать спецодежду, специальную обувь и такие защитные средства органов

5.3 Экологическая безопасность..

5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.

Для того, чтобы перевести производство к малоотходным производствам в лаборатории, надо осуществлять поглощение гамма-лучи с помощью свинцового защитного экрана.

Кроме того, существует необходимость в организации отдельных контейнеров для отходов бытового характера, то есть обеспечить здании лаборатории отдельными мусорными баками для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Для этого заключают договор со специальной компанией, которая занимается вывозкой мусора, разделенного на категории и доставляла его на предприятия по переработке отходов.

Данная лаборатория снабжена принтерами. Для печати в принтерах находятся чернильные картриджи, которые спустя некоторое время ломаются и их утилизируют. Если сам картридж функционирует нормально – просто заменяют чернила.

5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.

В процессе исследования образуется много отходов бумажной отходы. Бумажные отходы так же классифицируют на степени качества в зависимости от некоторых характеристик макулатуры. К примеру, макулатура высокого качества - это отходы белой немелованной бумаги для использования в печати, написании писем, но не газетная; так же это могут быть невлагопрочные использованные бумажные пакеты и мешки. Макулатура среднего качества – это отходы производства и потребления гофрированного картона и его составных компонентов, а так же картона всех видов с печатью. А макулатура низкого качества - отходы газет и газетной бумаги, бумажные гильзы, шпули, втулки, литые изделия из бумажной массы. После того, как класс бумаги определен – она отправляется на особое производство, где будет изготовлена новая бумага.

5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.

Проблема охраны окружающей среды – это совокупность глобальных вопросов по сохранению природной чистоты. Один из самых эффективных и активных способов решения этой проблемы – сократить количество вредных выбросов с промышленных предприятий посредством полного перехода к безотходным или малоотходным технологиям производства.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.

ЧС внезапного воздействия на исследуемый объект является воздействие высокоэнергетических частиц, что приводит к повышению температуры образца, что приводит к пожару.

Согласно с ГОСТом 12.1.004–91, корпус 3 ТПУ Н4-лаборатория имеет отношение к категории Г, где находятся и функционируют негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии. А процесс их обработки сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени. Горючие газы, жидкости и твердые вещества утилизируются путем сжигания в качестве топлива.

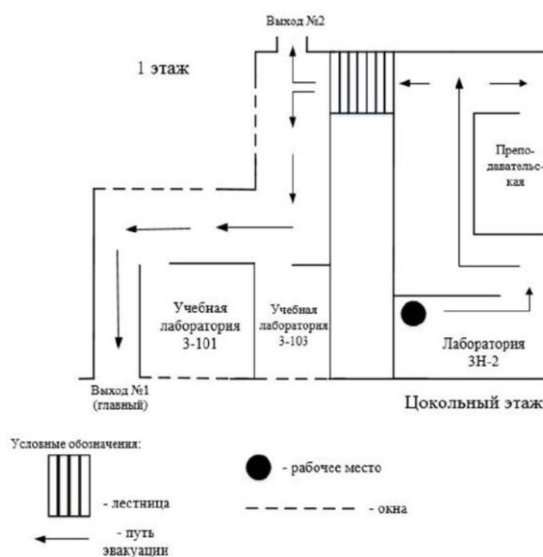


Рисунок 11 - План эвакуации при пожаре и других ЧС (из корпуса № 3, пр. Ленина, 43 – 1 этаж и цокольный этаж)

Первичные средства пожаротушения в коридорах и переходах не должны быть препятствием к безопасной эвакуации людей в чрезвычайных ситуациях. Необходимо, чтобы сооружение соответствовало требованиям пожарной безопасности, то есть должна быть установлена охранно-пожарная сигнализация, должен быть размещены на видном месте план эвакуации, указатели движения к выходу из здания, а так же порошковые или углекислотные огнетушители с поверенным клеймом.

5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.

Электронная безопасность является основным средством защиты безопасности экспериментального оборудования.

Электробезопасность выступает как система организационных и технических мероприятий и средств, которые обеспечивает защиту работников лаборатории от негативного влияния электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Электроустановки распределяют по количеству напряжения: кс номинальным напряжением до 1000 В (помещение без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещение с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (особо опасное помещение).

В соответствии с ГОСТом Р 12.1.019–2009 данное производственное помещение относится к последнему классу напряжения и является особенно опасной зоной с риском поражения электрическим током. Это потому, что наша лаборатория оборудована приборами выше 1000В. Это высоковольтные источники питания детекторов и радиоактивные излучения гамма-лучей.

СКЗ. В рамках лабораторной работы используют такие меры защиты от поражения электрическим током как:

- Использовать защитное заземление, зануление; защитное отключение; двойную изоляцию, оградительные устройства, сигнализацию, блокировку, знаки безопасности, плакаты.

- Применение невысоких напряжений;

Использование средств индивидуальной защиты (СИЗ) содержат такие мероприятия как:

- пользование специальной резиновой изоляционной одеждой и перчатками из того же материала;

- применение защитных пластиковых касок; специальных очков; щитов ограждения; различных респираторов и противогазов; рукавиц; предохранительных поясов и страховочных канатов.

Все имеющиеся в лаборатории электрические приборы и оборудование стоят на своих строго определенных местах имеют защитное заземление с сопротивлением не более 4 Ом, напряжением не более 12 В (шахты), 36 В (стройка) и током не более 0,1 мА. Данные в соответствии с ГОСТ 12.1.030–81.

Чтобы освободить пострадавшего от воздействия тока с напряжением выше 1000 В можно осуществить единственным способом. Для этого необходимо отключить соответствующую часть электрической установки специалистами в данной области. А пострадавшему надо оказать всю возможную доврачебную помощь.

5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Данная лаборатория расположена на территории города Томска. Этот район характеризуется континентально циклоническим климатом. Природные катаклизмы и явления, как землетрясения, наводнения, засухи, ураганы, в этом городе не наблюдаются. Однако, для этой местности характерны такие чрезвычайные ситуации как сильные сибирские морозы.

Рассмотрим ситуацию, когда на улице сильный мороз. Если возникла авария на теплосети, необходимо быть к этому готовым и заранее, при подготовке к зимнему сезону, подать заявку руководителю о закупке для отделений и цехов газовых отопителей с катализаторами с баллоном с газом. Так, в случае, если батареи переморозились, то используем отопитель для создания комфортных условий труда. В случае заморозки электропровода и отключения электричества, необходимо, чтобы на складе был бензиновый электрогенератор. Так, все электрические приборы снова будут работать, а, значит, работа в лаборатории будет продолжаться.

На складе лаборатории всегда должен быть суточных запас питьевой и технической воды для персонала. В случае, если из-за сильного мороза рабочие не могут добраться к лаборатории – им должны отправить транспорт, и после доставить всех домой.

В целом, любую диверсионную операцию возможно предупредить с помощью таких мер как: система видеонаблюдения, круглосуточная охрана, пропускной контроль, проверенная система связи, а также профилактика засекречивания информации об охране предприятия, плане помещений и расположении оборудования в лабораториях, системах охраны, о местах установки видеокамер и их количестве. беруши, антифоны.

5.5 Вывод.

В ходе рассмотрения безопасности и гигиены труда при осуществлении работ по имитацию радиационных дефектов с помощью установки спектрометров ЭПА (Электро-позитронная аннигиляция.) , были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны , причины и средства защиты , рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы было изучено влияние имитационного отжига и холодной прокатки на дефектную структуру циркония. После холодной прокатки сплава Э110 (Zr1Nb) в спектре имеются дислокации, наблюдается уже при 300-350 градусов, время жизни позитрона в дислокации циркония составило 212,4 пс. Данный результат, полученный впервые, был использован для обработки спектров времени жизни позитронов в образцах циркония Э110 после имитационного отжига.

Методы позитронной аннигиляции зарекомендовали себя как одни из наиболее точных лабораторных методов количественной и качественной характеристики дефектной структуры. При чем, метод доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ) позволяет получать точную информацию об импульсном распределении электронов и химическом окружении в месте аннигиляции.

По методу ДУАЛ, чтобы понять внутри сплава Э110, концентрация дислокации уменьшается с увеличением температуры и, зная, что В образце Zr1Nb (имитационный) имеются только дислокации. Это говорит о том, что либо в образце не было вакансий, либо вакансии в образце диффундировали и сформировали дислокации в процессе имитационного отжига. Это открытие помогло нам улучшить то, как материал защищен в ядерном реакторе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Paul, A.D. The quantum theory of the electron // Proc.Roy.Soc.Lond. - 1928. - Vol. 117, iss. 778. - P. 360 - 365.
- [2] Paul, A.D. A Theory of Electrons and Protons // Proc.Roy.Soc.Lond. - 1930. - Vol. 126, № 801. - P. 360 - 365.
- [3] Carl, D.A. The Positive Electron //Physical review - 1933. - Vol. 43, iss. 6. - P. 491-494.
- [4] Beuermann, K.P. Cosmic-Ray Negatron and Positron Spectra Between 12 and 220 MeV / K. P. Beuermann, C. J. Rice, E. C. Stone // Phys. Rev. Lett. - 1969. - Vol. 22, iss. 9. - P. 412–415.
- [5] Ejiri, H. Difference between Log ft Values of Negatron Decays and Positron Decays from Odd-Odd Nuclei to Even-Even Nuclei // J. Phys. Soc. Jpn. - 1967. - Vol. 22, № 2. - P. 360 - 367.
- [6] Application of positron annihilation techniques for semiconductor studies / G.P. Karwasz, A. Zecca, R.S. Brusa et al. // Journal of Alloys and Compounds. - 2004. - Vol.382, iss. 1-2.-P. 244 - 251.
- [7]C ěk, J. Characterization of lattice defects in metallic materials by positronannihilation spectroscopy: A review //Journal of Materials Science & Technology -2018. - Vol. 34, iss. 4. - P. 20 - 22.
- [8] Valkealahti, S. Monte-Carlo Calculations of keV Electron and Positron Slowing Down in Solids/ S. Valkealahti, R.M. Nieminen //-Appl. Phys. A. -1983. - Vol. 32, iss. 2. - P. 95 -106.
- [9] Valkealahti, S. Monte Carlo calculations of keV electron and positron slowing down in solids.II / S.Valkealahti, R.M.Nieminen //Appl. Phys. A – 1984. – Vol. 35, iss. 1. - P. 51-59.
- [10] Maurizio, D. Backscattering of positrons from solid targets/ D. Maurizio, M. Antonio //Scanning Microscopy. - 1998. - Vol. 12, № 1. - P.131 - 138.

- [11] Jensen, K.O. Monte Carlo simulation of the transport of fast electrons and positrons in solids / K.O. Jensen, A.B. Walker // Surface ScienceSurf. Sci. -1993. - Vol. 292, iss. 1-2. - P. 83 - 97.
- [12] Nielsen, B. Study of solids by use of nonthermalized positrons / B.Nielsen, K.G.Lynn, Y. C. Chen // Phys. Rev. Lett. - 1986. - Vol. 57, iss. 14. - P.1789 -1792.
- [13] Profiling multilayer structures with monoenergetic positrons / A. Vehanen, K.Saarinen, P.Hautojarvi et al. // Phys.Rev. B. - 1987. - Vol.382, iss. 10.-P. 4606 - 4610.
- [14] Peter, J. S. and K. G. Lynn, Interaction of positron beams with surfaces, thin films, and interfaces,/ J. S.Peter, K.G.Lynn // Rev. Mod. Phys. -1988 - Vol. 60, iss. 3. – P. 701.
- [15] Bergersen,B. The effect of vacancy formation on the temperature dependence of the positron lifetime/ B.Bergersen, M.J.Stott // Solid State Communications. - 1969. - Vol. 7, iss. 17. - P. 1203 -1205.
- [16] Nieminen, R.M Positrons in imperfect solids: theory / R.M. Nieminen, M.J. Manninen // Positrons in Solids. - 1979. - Vol.12. - P. 145-195.
- [17] Mahuya, C. Positron annihilation characterization of nanocrystalline ZnO/ C. Mahuaya, D.Jana, D.Sanyal // Vacuum. - 2013. - Vol. 87. P. 16 – 20.
- [18] West R. N. Positron studies of lattice defects in metals // Positrons in Solids.– Springer Berlin Heidelberg, 1979. – P. 89-144.
- [19] West R. N. Positron studies of condensed matter //Advances in Physics. - 1973. – Vol. 22, iss. 3. - P. 263-383.
- [20] Puska M. J. Defect Spectroscopy with Positrons: A General Computational Method / M. J. Puska, R. M. Nieminen // Journal of Physics F: Metal Physics. - 1983. - Vol. 13. - №2. - P. 333 – 346.
- [21] Krause R.R. Positron Annihilation in Semiconductors: textbook. - Berlin.: Springer-Verlag, 1999. – 199 p.
- [22] Paul, A.D. Quantised singularities in the electromagnetic field // Proc.Roy.Soc.Lond. - 1930. - Vol. 26, №821. - P. 361 - 375.

- [23] Some Results on the Properties Investigations of Zirconium Alloys for WWER-1000 Fuel Cladding / V. Novikov, V. Markelov, A. Gusev et al. // Nuclear fuel cycle and fuel materials. - 2011. - Vol.43, №26.-P.459-467.
- [24] Iurii B. Positron annihilation spectroscopy study of defects in hydrogen loaded Zr-1Nb alloy [Электронный ресурс] / B.Iurii, K.Viktor, S.Leonid // Journal of Alloys and Compounds. - 2019 - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838819318663?via%3DiHub#!> .свободный (дата обращения: 27.05.2019).
- [25] Правила организации рабочего места [Электронный ресурс]. - <https://spmag.ru/articles/pravila-organizacii-rabochego-mesta>, - Загл.с экрана (дата обращения: 23.05.2019).
- [26] Беспалов В.И. Надзор и контроль в сфере безопасности. Радиационная защита : Учебное пособие. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 508 с.
- [27] ГОСТ 12.2.003 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности. (дата введения: 29.05.2019).
- [28] ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ) Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. (дата введения: 29.05.2019).
- [29] ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры. (дата введения: 29.05.2019).
- [30] ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ "Шум. Общие требования безопасности." (дата введения: 29.05.2019).

[31] СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. (дата введения: 29.05.2019).

[32] СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. (дата введения: 29.05.2019).

[33] ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. (дата введения: 29.05.2019).

[34] ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. (дата введения: 29.05.2019).